

DOI: 10.19333/j.mfkj.2018050040305

# 仿羽绒保暖材料的研究进展

熊磊<sup>1</sup> 程明军<sup>2</sup> 王明超<sup>3</sup> 张志刚<sup>1</sup>

(1.六安职业技术学院,安徽六安 237158; 2.上海朋康进出口有限公司,上海 201313;  
3.亿得宝科技发展有限公司,浙江温州 325025)

**摘要:** 针对在仿羽绒纤维集合体开发中纤维原材料的选用、纤维集合体成形加工技术等问题,通过查阅资料,了解仿羽绒保暖材料的开发进展,分析天然羽绒的形态结构特征及其保暖性能,重点对比仿羽绒纤维和仿羽绒纤维集合体材料的选用、加工方法,并总结出仿羽绒纤维集合体开发中应注意的问题。得出在仿羽绒纤维集合体加工过程中,要选择好粗细纤维的合理配比,做好纤维外观形态的改造,并对加工工艺参数进行优化配置,使制成的仿羽绒材料呈现球状或丛状纤维形态。

**关键词:** 天然羽绒; 仿羽绒纤维; 纤维集合体; 保暖材料; 加工技术

中图分类号: TS 101.8

文献标志码: A

## Development progress of down-like thermal insulation materials

XIONG Lei<sup>1</sup>, CHENG Mingjun<sup>2</sup>, WANG Mingchao<sup>3</sup>, ZHANG Zhigang<sup>1</sup>

(1. Liuan Vocational Technical College, Liuan, Anhui 237158, China;

2. Shanghai Pengkang Import & Export Co., Ltd., Shanghai 201313, China;

3. Yidebao Technological Development Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang 325025, China)

**Abstract:** The morphological structure and thermal retention property of natural down were analyzed; the development progress of down-like thermal insulation material was reviewed. Especially the critical technology in the manufacture of down-like fiber and fiber assemblies were discussed, and the choice of fiber materials and the forming of fiber assemblies for the down-like fiber assemblies were analyzed. In the development of down-like fiber assemblies, the proper weight percentage of fibers with different diameters, the morphological modification of fiber surface and the optimal technology parameters are necessary, the final products should ideally be in the form of ball-shaped or cluster.

**Keywords:** down-like; natural down; thermal insulation material; fiber; development

天然羽绒主要来自于水禽动物(鹅、鸭等)<sup>[1]</sup>,干燥的羽绒具有质轻、柔软、蓬松、保暖性好等特性,是优良天然保暖材料。人类很早就认识到天然羽绒优良的保暖性能,但其作为保暖材料被广泛应用却是在 20 世纪中期以后。1940 年,埃迪·鲍尔(Eddie Bauer)获得第一个绗缝羽绒服专利<sup>[2]</sup>,开创了天然羽绒作为保暖材料在服装上应用的先例,此后天然羽绒作为保暖材料得到越来越广泛的应用。现在天然羽绒已被广泛应用于服装鞋帽、床上用品、

户外用品等领域,因其优良的保暖性能、轻薄舒适的感官性能和多彩变化的外观设计,得到越来越多消费者的青睐。但是,由于禽流感疫情的影响,以及天然羽绒的采集和加工成本的增加,导致成品天然羽绒的价格较高<sup>[3]</sup>;另外天然羽绒存在生产过程的非生态化、使用过程中易钻绒、受潮后保暖性能大幅下降等问题<sup>[4-6]</sup>,因此开发综合性能接近天然羽绒、且能避免天然羽绒缺陷的仿羽绒保暖材料具有广阔的应用前景。

仿羽绒保暖材料是指根据天然羽绒的特点,通过物理和化学的方法,制造出形态各异、具有优良保暖性能的纤维材料的总称。目前,仿羽绒保暖材料的开发主要集中在 2 个方面:仿羽绒纤维和仿羽绒纤维集合体的开发。仿羽绒纤维是在纤维的生产和

收稿日期: 2018-05-08

基金项目: 安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2018A0777)

第一作者简介: 熊磊,副教授,硕士,主要研究方向为纺织材料的结构与性能, E-mail: xionglei1616@163.com。

加工方面进行研发,开发具有优良保暖性能的新纤维;仿羽绒纤维集合体是指利用已有的纤维,通过一定的加工技术,开发与天然羽绒形态和性能相似的保暖材料。随着纺织化纤技术的发展,由于各类新型纤维的应用和仿羽绒材料加工技术的进步,仿羽绒保暖材料的开发已取得了较大进展。

本文通过对天然羽绒形态结构及其保暖性能的分析,阐述了仿羽绒保暖材料开发的机制,综述了仿羽绒保暖材料开发的主要技术,提出了改进仿羽绒保暖材料综合性能的主要方法和仿羽绒保暖材料发展的方向。

## 1 天然羽绒的形态结构与保暖性能

### 1.1 形态结构

天然羽绒属于天然蛋白质纤维,通常作为保暖填充材料的天然羽绒是指羽毛和羽绒的混合物。羽毛是指覆盖在鹅、鸭体表的质轻柔韧、具有弹性和防水性、由表皮角质化所生长成的一种结构,其具有二维片状结构;羽绒是指生长在雏鹅、鸭的体表或成鹅、鸭的羽毛基部的羽枝柔软、羽小枝细长、不成瓣状的绒毛,其具有三维球形结构。天然羽绒的形态特征见表 1<sup>[7-9]</sup>。

表 1 天然羽绒的形态特征

羽绒组成	长度 / mm	细度 / $\mu\text{m}$	表面特征	截面特征
羽轴	10~100	-	整体呈片状	不规则三角或椭圆形,皮芯层结构,部分芯层有空洞或形成空腔
羽毛	羽枝 8~60 羽小枝 0.3~0.5	20~100 10~30	表面有纹理,羽枝上有节点	
羽绒	绒核 0.5~4.0 绒枝 5.0~35.0 绒小枝 0.1~0.5	- 8~30 2~15	整体呈球形或树状,绒枝表面有沟槽,绒小枝上有节点	

### 1.2 保暖性能

天然羽绒独特的结构形态,造就了其优良的保暖性能<sup>[10]</sup>。羽毛比较粗硬,富有弹性;羽绒细软,蓬松性好;在羽毛羽绒的混合物中,羽毛作为骨架和支撑材料,提供弹性;羽绒作为填充材料,提供保暖性;二者的有机结合,组成了性能优良的保暖材料。与天然羽绒保暖性能关系密切的物理性能指标主要有蓬松度、导热系数和回潮率。

蓬松度是指天然羽绒的弹性,是评价天然羽绒保暖性的重要指标<sup>[11]</sup>。通常随羽绒含量的提高,天然羽绒混合物的蓬松度也随之提高,蓬松度越大,纤维集合体中可以储存大量静止空气,保暖性越好<sup>[12]</sup>。

导热系数反映纤维材料传导热量的能力。导热

系数低,材料传导热量的能力低,热交换效率低,材料的保暖性能好。静止空气的导热系数比一般纤维小很多,纤维保暖材料中储存的静止空气越多,则其保暖性能越好<sup>[13]</sup>。天然羽绒的三级结构及皮芯层的截面形态,使其可以存储较多的静止空气,因此在各种纤维保暖材料中,羽绒的导热系数最小。

回潮率反映纤维材料的吸湿性能,吸湿性能对材料的保暖性有很大影响。随着纤维回潮率的增加,纤维导热系数增大,纤维集合体的蓬松性也会变差。球状的羽绒有大量的绒枝和绒小枝,使其比表面积增大,有利于吸湿性的提高,但同时羽绒表面有一层致密的分子层膜,能够限制水分子的进入<sup>[6]</sup>,在天然纤维中,羽绒的回潮率相对较低,回潮率较低可以使天然羽绒集合体易于保持柔软蓬松状态,有利于保暖性的提高。天然羽绒与常用保暖材料导热系数和回潮率比较见表 2。

表 2 天然羽绒与常用保暖材料导热系数和回潮率比较

纤维品种	导热系数 / ( $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ )	标准回潮率 / %
羽绒	0.048	8.133
棉	0.461	9.860
羊毛	0.193	17.443
聚丙烯纤维	0.117	0.050
聚酯纤维	0.141	0.499
静止空气	0.026	-

## 2 仿羽绒纤维的开发

常规纤维的导热系数较高、蓬松度低、保暖性能差,根据天然羽绒纤维的特点,通过对常规纤维形态结构进行改造或采用新原料和新工艺开发新型保暖纤维,可以得到保暖性能优良的仿羽绒纤维。目前常见的仿羽绒纤维包括异形纤维、复合纤维和新型保暖纤维。

### 2.1 异形纤维

异形纤维是指在纤维加工过程中,主要采用物理的方法对高聚物的形态结构进行改造<sup>[14]</sup>,获得具有特殊截面形状和外观形态的纤维,由于纤维形态结构的改变,异形纤维的性能也得到相应的改善。异形纤维的加工,主要是从纤维的细度、截面形状、卷曲性能等方面对纤维进行改造,可以得到具有优良保暖性能的仿羽绒纤维。异形纤维硅烷化处理工艺是常用的仿羽绒纤维加工方法<sup>[15]</sup>,通过高聚物熔体经纺丝、牵伸、卷曲、硅烷化处理、热定形和切断,即可得到所需的仿羽绒纤维。

在纺丝阶段采用异形喷丝孔可得到中空截面的纤维,能有效降低纤维的导热系数;通过卷曲处理可

以提高纤维的卷曲度,改善纤维的蓬松性;硅烷化处理可以降低纤维间的静摩擦因数,提高纤维的回弹性;最后得到具优良的保暖性能的仿羽绒纤维。

## 2.2 复合纤维

复合纤维又称多组分纤维,指在同一根纤维截面上存在 2 种或 2 种以上不相混合的聚合物纤维。由于复合纤维具有不同的组分,通过选用不同的聚合物和纤维加工工艺,可以得到具有不同结构和性能的复合纤维。利用复合纤维的特点,可以开发具有良好蓬松性的仿羽绒纤维。如采用具有不同特性的聚酯(PET)为原料,纺制并列型复合纤维<sup>[16]</sup>,通过优化工艺条件,不同特性的聚酯会产生不同的收缩,在纤维中形成螺旋卷曲结构,这种卷曲具有永久性和一定的弹性,可以大大提高纤维的蓬松性,也可以模拟天然羽绒的皮芯层结构,生产具有皮芯结构的仿羽绒纤维,如皮层采用较柔软的聚乙烯(PE),芯层采用导热系数低的聚丙烯(PP)<sup>[17]</sup>,该纤维既具有较好的手感,也具有较好的蓬松性。

## 2.3 新型保暖纤维

新型保暖纤维是指采用新的聚合物开发的具有优良保暖性能的纤维材料,是仿羽绒纤维发展的新方向。杜邦公司采用以丙二醇(PDO)为原料的聚合物和独特的生产工艺开发的生物绒™是一种新型保暖纤维<sup>[18]</sup>,该纤维材料的蓬松性、手感和保暖性接近天然羽绒纤维,且可以水洗、不钻绒,是天然羽绒理想的替代品。

## 3 仿羽绒纤维集合体的开发

仿羽绒纤维集合体是指采用多根相同或不同的纤维,通过物理机械或化学方法,加工成具有天然羽绒形态特征和优良保暖性能的仿羽绒材料。仿羽绒纤维集合体开发的关键在于选择合适的纤维材料和加工方法。

### 3.1 纤维材料的选用

早期仿羽绒纤维集合体的开发主要采用常规纤维或常规纤维与天然羽毛羽绒混和仿制仿羽绒材料,这些仿羽绒材料的形态结构与天然羽绒差别较大,且密度较大,在作为填充材料使用过程中,存在变形能力差、与人体贴服性差、不宜回复原状、保暖性较差等缺点<sup>[19-21]</sup>。随着化纤工业的发展,仿羽绒纤维集合体所选用的纤维材料越来越广泛,各种异形纤维、超细纤维、高性能纤维等被应用于仿羽绒材料中,所开发的仿羽绒材料的综合性能也越来越接近天然羽绒。Donovan 等<sup>[22-23]</sup>用较细纤维(直径 3~12 μm,含量 80%~95%)和较粗的纤维(直径 12~50 μm,含量 5%~20%)混和制成了保暖性优良的

仿羽绒材料,为改善纤维材料的易加工性、提高制成品的综合性能,对粗细纤维的配比进行了调整,并在纤维集合体中增加了黏接点,最后制成的仿羽绒材料具有较高的热重比、柔软的手感和良好的压缩回复性。为改善仿羽绒材料的可吹送性,使其具有天然羽绒质轻的特点,Rossbach 等<sup>[24]</sup>使用 3 种细度不同的涤纶短纤维混和制成了一种可以替代羽绒的填充材料。目前,采用较细的纤维与较粗的纤维混和开发仿羽绒保暖材料已经成为一种常用的方法。在纤维原材料选用时,为提高纤维集合体的蓬松度,所用的纤维都应具有一定的卷曲度,且要进行表面润滑处理;为提高纤维集合体的机械性能,要求纤维应具有较高的拉伸模量。

### 3.2 加工方法

仿羽绒纤维集合体的加工方法主要有梳理成网法、长丝束切断法、熔喷法和原纤化处理法。根据天然羽绒形态结构的特点,采用上述方法可以将各种纤维原料加工成与天然羽绒形态和性能相似的仿羽绒材料,制成的仿羽绒材料外观形态最好是丛状或球状纤维集合体。仿羽绒纤维集合体的外观形态见图 1。



图 1 仿羽绒纤维集合体的外观形态

#### 3.2.1 梳理成网法

梳理成网法是指将散纤维首先喂入梳理成网设备加工成纤维网,之后将纤维网切断或撕裂形成仿羽绒材料。梳理成网法源自梳棉机工作机制<sup>[25]</sup>,喂入的散纤维经过锡林、盖板、道夫等装置被加工成纤维网,制成的纤维网被输送至黏接装置,在纤维网中形成不连续的黏接点,最后进入切断装置进行切割,便可以得到仿羽绒材料。

通过对传统梳理成网设备进行改进,可将散纤维直接加工成球状纤维输出<sup>[26]</sup>。喂入的散纤维在锡林针布和固定的摩擦组件的作用下,在运动中不断相互纠缠抱合形成球状纤维集合体,最后经道夫输出。通过调节纤维喂入速度、锡林转速和锡林与摩擦组件间距等工艺参数,可得到理想的球状仿羽绒材料。改进的梳理法工艺流程示意图见图 2。

#### 3.2.2 长丝束切断法

长丝束切断法是指将连续的化纤长丝喂入加工设备,丝束在输送过程中,经固接、切断后,成为具有类似于羽绒结构的仿羽绒材料<sup>[27]</sup>。长丝束切断法

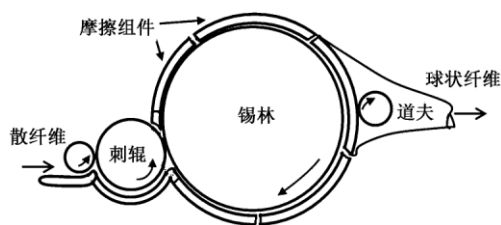


图 2 改进的梳理法工艺流程示意图

工艺流程图见图 3。整理好的丝束经导辊进入黏接装置，黏接装置由加热组件和黏接花辊组成，其中加热组件可以采用超声波加热、电加热等形式。经过黏接装置后，在丝束中形成不连续的黏接点，黏接点的位置可以根据工艺要求设定。之后丝束进入切断机，经切断后成为丛状纤维。

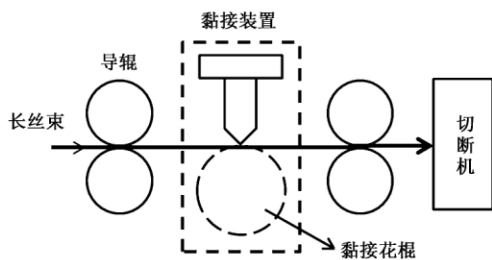


图 3 长丝束切断法工艺流程示意图

### 3.2.3 熔喷法

熔喷法是一种非织造布加工方法，其生产工艺是将高聚物熔融后，利用高温高速气流将由喷丝组件喷出的熔体吹成超细的纤维，在成网机上集聚、并相互黏接形成纤维网<sup>[13]</sup>。采用该方法制成的纤维网中已经存在黏接点，可以直接输送至切断装置，经切割或撕裂后成为所需的仿羽绒材料。也可以用平行排列的长丝替代输网帘，将超细纤维直接喷在长丝上，二者复合在一起形成仿羽绒材料<sup>[28]</sup>。熔喷法工艺流程示意图见图 4。

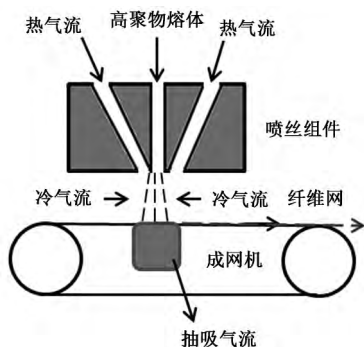


图 4 熔喷法工艺流程示意图

将上述熔喷成网的方法进行改造，可以得到熔喷 1 次成形加工法<sup>[29]</sup>，熔喷 1 次成形法工艺流程示意图见图 5。喂入的纤维（如长丝等）在筛网辊筒上与熔喷出的纤维混和，经拉伸后进入压辊，将 2 种纤维黏接在一起，最后经切断后成为具有二级结构的仿羽绒材料。

其中喂入的纤维直径为 10~100 μm，熔喷得到的纤维直径为 0.5~100 μm，一般 2 种纤维直径比为 6:1~30:1 时，可以得到性能较好的仿羽绒材料。

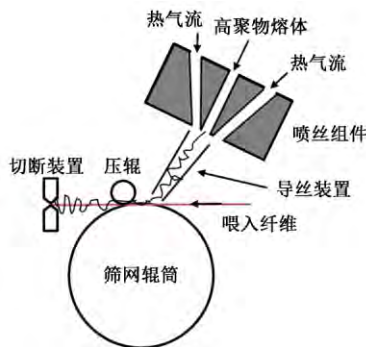


图 5 熔喷 1 次成形法工艺流程示意图

### 3.2.4 原纤化处理法

原纤化处理法是指纤维在受机械力作用时，纤维的表层受到破坏，纤维内部的原纤或原纤束裸露出并附于主体纤维上<sup>[30]</sup>。利用机械梳理的方法，对特定的纤维进行原纤化处理，可以得到具有优良保暖性能的仿羽绒材料<sup>[31]</sup>，其中机械梳理可以在传统的梳理设备上，但是工艺设置有所不同，如选用更细的针布、更小的隔距，并增加梳理的次数等；选用的纤维需要具有优良的抗弯刚度和较高的分子取向度，通常选用芳纶（Kevlar）或高强高模涤纶等，纤维长度一般为 7~10 cm，细度为 9~25 μm。将纤维喂入梳理设备，经反复梳理摩擦，纤维产生原纤化，形成所需的仿羽绒材料。原纤化仿羽绒材料形态示意图见图 6。

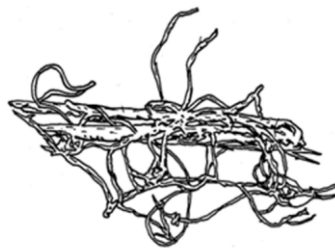


图 6 原纤化仿羽绒材料形态示意图

### 3.3 开发中应注意的问题

在仿羽绒纤维集合体开发中，为提高制成品的综合性能，在纤维的选用和纤维集合体的成形方面应注意以下几个问题：

①在仿羽绒纤维集合体的开发中，对纤维原材料的品种没有特殊要求，但是要注意粗细纤维的合理搭配和对纤维表面及外观形态的处理，且所选用的较细纤维要有较高的拉伸模量，以提高仿羽绒材

料的综合性能。

②采用超细纤维与较粗纤维混和开发仿羽绒材料时,所用超细纤维含量不宜过大,否则会产生加工难度大、制成品在潮湿环境中性能下降等问题。

③对纤维进行硅烷化处理和卷曲加工,可以改善纤维的表面性能,提高纤维回弹性,有利于纤维集合体蓬松性的提高。

④在纤维之间形成一定的固接点,有利于改善纤维集合体的回弹性,常用的固接方式有热熔纤维固接、超声波固接、化学黏合剂固接以及纤维间纠缠抱合固接等。

⑤采用异形纤维和复合纤维,如中空纤维等,可以提高仿羽绒材料的保暖性能。

⑥制成的仿羽绒材料最好是球状或丛状纤维形态,与天然羽绒形态相似,具有较好的蓬松性能。

## 4 结束语

随着纺织化纤技术的发展,由于纤维材料性能的不断改进和仿羽绒材料加工技术的日趋成熟,对仿羽绒材料性能的要求不再是单一的保暖性或形态相似性,而是要求所开发的仿羽绒材料的综合性能能够达到天然羽绒的性能,即满足保暖性的同时,也具有轻、柔、蓬松性好等特征,且能够避免天然羽绒材料在使用中存在的问题。在仿羽绒纤维的研发方面,要求所开发纤维在具有较低的导热系数和较高的蓬松性的同时,也要重视纤维材料的环保性能。在仿羽绒纤维集合体的研发方面,一方面要注意不同粗细纤维的合理配比和对纤维外形的处理,另一方面在加工过程中要注意各项工艺参数的优化配置,保证仿羽绒材料的形态和性能符合要求。

### 参考文献:

[1] 王敦洲. 全球羽绒业加工现状及前景分析[J]. 中国禽业导刊, 2011, 28(17): 29-30.  
[2] EDDIE Bauer. Jacket: US, D119122[P]. 1940-02-20.  
[3] 曹爱玲, 童兰英, 夏积龙, 等. 中国羽绒之都出口羽绒及其制品的现状分析[J]. 检验检疫科学, 2007, 17(6): 71-73.  
[4] 俞旭霞. 羽绒及其制品生态化存在的问题及对策[J]. 实用测试技术, 2002(2): 43-45.  
[5] 牛雪梅, 潘文花, 李东平. 羽绒服钻绒机理的研究[J]. 江苏纺织, 2005(3): 38-40.  
[6] 高晶, 于伟东. 羽绒纤维的吸湿性能[J]. 纺织学报, 2006, 27(11): 28-31.  
[7] 高晶, 于伟东, 潘宁. 羽绒纤维的形态结构表征[J]. 纺织学报, 2007, 28(1): 1-4.  
[8] 杨崇岭, 赵耀明, 刘立进. 天然纺织材料: 羽毛纤维的

形态结构[J]. 纺织导报, 2005(3): 56-59.  
[9] 金阳, 李薇雅. 羽绒纤维结构与性能的研究[J], 毛纺科技, 2000, 28(2): 14-18.  
[10] 吴安成, 宋修彩, 易曙晖, 等. 羽绒(毛)结构和性能研究[J]. 中国纺织大学学报, 1990, 16(2): 94-99.  
[11] 王学川, 高文娇, 强涛涛, 等. 物理机械方法改善羽绒蓬松度的研究[J]. 毛纺科技, 2016, 44(2): 5-8.  
[12] 徐广标, 聂静, 齐迪迪. 羽绒/羽毛集合体的性能[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2014, 40(5): 555-559.  
[13] 刘玉军. 纺粘和熔喷非织造布手册[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2014.  
[14] 魏赛男, 崔淑玲. 纺丝工艺及截面形状对异形纤维性能的影响[J]. 毛纺科技, 2005, 33(11): 43-46.  
[15] 赵菊华. 仿羽绒纤维的特征及应用开发[J]. 纺织学报, 1988, 9(12): 578-580.  
[16] 张大省, 周静宜. 双组分并列复合纤维的弹性形成机理[J]. 纺织导报, 2016(12): 46-51.  
[17] 崔卫国, 吴峰. PE/PP 皮芯型复合纤维[J]. 化纤与纺织技术, 2005(4): 18-22.  
[18] 赵国玲. 生物绒革新防寒服填充物市场[J]. 纺织服装周刊, 2014(9): 77.  
[19] HOFMANN H. Process of treating synthetic fibers: US, 3271189[P]. 1966-09-06.  
[20] STEVENSON P J. Process for forming bulk yarns from continuous filament webs: US, 3541653[P]. 1970-11-24.  
[21] LIEBMAN BS. Insulating composition: US, 4248927[P]. 1981-02-03.  
[22] DONOVAN J G. Synthetic down: US, 4588635[P]. 1986-05-13.  
[23] DONOVAN J G, GROH Z M. Synthetic down: US, 4992327[P]. 1991-02-12.  
[24] ROSSBACH R K, TUMAN S J, BERRIGAN M R, et al. Blowable natural down alternative: US, 2018/0051402A1[P]. 2018-02-22.  
[25] 倪士敏. 梳棉梳理工艺研究[J]. 棉纺织技术, 2011(8): 1-4.  
[26] SNYDR A C, VAUGHN G L. Making rounded clusters of fibers: US, 5218740[P]. 1993-06-15.  
[27] MARCUS H. Fiberfill structure: US, 6053999[P]. 2000-04-25.  
[28] 仇何, 路绮雯, 张伟, 等. PLA/PAE 仿鹅绒高效保暖材料的制备与工艺研究[J]. 南通大学学报(自然科学版), 2016, 15(1): 34-38.  
[29] MILTON A, MOIR R, MURPHY M, et al. Synthetic fill materials having composite fiber structures: US, 2017/0175325 A1[P]. 2017-06-22.  
[30] 曾抒姝, 王宜, 胡健. PPTA 纤维原纤化的研究进展[J]. 合成纤维工业, 2008, 31(4): 49-52.  
[31] DONOVAN J G, SKELTON J. Thermal insulator comprised of split and opened fibers and method for making same: US, 4681789[P]. 1987-07-21.